Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.339-366 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.81449.1337 Open access

Forecasting the vulnerability of Khash City due to storm hazard by Gamble Method and Partial Series

Omid Pirian Kalat[a], Javad Jamshidzehi[b], Keramatollah Ziari[c*], Reza Shafie Kenari[d]

[a] *MSc in Regional Planning, Department of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*
[b] *MSc in Natural Environmental Hazards, Faculty of Geographical Sciences, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran.*
[c] *Professor in Geography and Urban Planning, Faculty of Geography, Department of Human Geography and Planning , University of Tehran, Tehran, Iran.*
[d] *MSc in Regional Planning, Department of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*

Received: 3 March 2023 ***Revised: 23 April 2023*** ***Accepted: 3 June 2023***

Abstract

This study aims to predict the vulnerability caused by hurricane crises and highlights the importance of effective crisis management in Khash City. Using a storm threshold speed of 15 m/s, the monthly, seasonal, and annual wind patterns of Khash City were analyzed with WRPLOT 8.0.2 software. To predict storm return periods for intervals ranging from 1 to 100 years, the Gumbel method and partial series method were applied based on the latest recorded data (1986–2018).

The analytical results revealed that storm return periods were predicted with greater intensity using the partial series method compared to the Gumbel method. For the 100-year return period, the Gumbel method estimated the most severe monthly storms with intensities of 29.1 m/s, while the partial series method predicted stronger storms with intensities of 32.2 m/s, 31.7 m/s, and 30.4 m/s.

The results suggest that the partial series method provides a more reliable prediction of hurricanes than the Gumbel distribution. This method's higher upper-limit estimates are particularly valuable for ensuring the safety of structures and for developing strategies to reduce human and financial losses. Consequently, the partial series method is recommended for hurricane prediction and optimal crisis management planning in Khash City.

Keywords: Hurricane Vulnerability Assessment, Crisis Management, Partial Series Method and Gumbel Distribution, Wind Speed Prediction, Risk Forecasting , Khash City.

---

* . Corresponding author: Keramatollah Ziari Email: zayyari@ut.ac.ir Tel:+989121260602

How to cite this Article: Pirian Kalat, O., Jamshidzehi, J., Ziari, K. & Shafie Kenari, R (2024). Forecasting the Vulnerability of Khash City Due to Storm Hazard by Gamble Method and Partial Series. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(3), 339-366.

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۳۶۶-۳۳۹

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی | DOI: 10.22067/geoeh.2023.81449.1337 | دسترسی آزاد

پیش‌بینی خطرپذیری شهر خاش ناشی از مخاطره‌ی طوفان به روش گامبل و سری‌های جزئی

امید پیریان کلات- کارشناس ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای- دانشگاه شهید بهشتی- تهران- ایران.

جواد جمشیدزهی- کارشناس ارشد مخاطرات طبیعی- دانشگاه سیستان و بلوچستان- سیستان و بلوچستان- ایران.

کرامت‌اله زیاری[۱]- استاد گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی- دانشکده جغرافیا- دانشگاه تهران- تهران- ایران.

رضا شفیع کناری- کارشناس ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای- دانشگاه شهید بهشتی- تهران- ایران.

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۱۲/۱۲ **تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۲/۳** **تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۳/۱۳**

چکیده

این مقاله با هدف پیش‌بینی خطرپذیری ناشی از بحرانِ طوفان جهت ضرورت توجه به مدیریت بحران شهر خاش انجام شده است. با در نظر داشتن سرعت آستانه‌ای طوفان به مقدار ۱۵ متر بر ثانیه، گل طوفان‌های ماهانه، فصلی و سالانه شهر خاش با نرم‌افزار WRPLOT 8.0.2 ترسیم گردید. به روش گامبل و سری‌های جزئی به پیش‌بینی دوره‌های بازگشت طوفان ۱ تا ۱۰۰ ساله برای بازه زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بر مبنای آخرین داده‌های ثبت شده (از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷) پرداخته شد. نتایج تحلیلی با دو مدل فوق، نشان داد دوره‌های بازگشت طوفان به روش سری‌های جزئی با شدت بیشتر و به روش گامبل، با شدت کمتر پیش‌بینی شده است، در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله شدیدترین طوفان‌های ماهانه خاش به روش گامبل با شدت‌های ۲۹ و ۲۹/۱ متر بر ثانیه بوده است؛ اما در روش سری‌های جزئی شدیدترین طوفان‌های ماهانه برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با شدت‌های ۳۲/۲، ۳۱/۷ و ۳۰/۴ متر بر ثانیه است. روش سری‌های جزئی به سبب پیش‌بینی‌های حد بالاتر، که در ایمنی سازه‌ها و کاهش خسارات جانی و مالی اهمیت دارد، روش مناسب‌تری نسبت به توزیع گامبل برای پیش‌بینی طوفان‌های خاش و برنامه‌ریزی جهت مدیریت بهینهٔ بحران به نظر می‌رسد.

---

[۱] نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۲۶۰۶۰۲ Email:zayyari@ut.ac.ir

کلیدواژه‌ها: ارزیابی آسیب‌پذیری طوفان ، مدیریت بحران ، روش سری‌های جزئی و توزیع گامبل، پیش‌بینی سرعت باد، پیش‌بینی ریسک، شهر خاش.

۱- مقدمه

امروزه پیش‌بینی خطرپذیری شهری ناشی از مخاطرات طبیعی مانند سیل، زلزله، طوفان و... به دلیل مداخلات انسانی و تغییرات طبیعی- اقلیمی آشکار و ملموس شده است. ازآنجاکه بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند و فرایند تمرکز جمعیت و فعالیت در مناطق شهری روزافزون شده است، پژوهش و تحقیق برای پیش‌بینی، پیشگیری و مدیریت بحران شهری یک اصل جهان‌شمول برای کاهش آسیب‌پذیری‌های اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و ارتقا پایداری زیست‌محیطی به شمار می‌آید (Piryan Kalat, Kamkar Ghorbanzadeh, Zamani & Ziari, 2023). برای حل چالش‌های زیست‌محیطی مانند تغییر اقلیم مهم است که به مسائل پایداری اجتماعی در سکونتگاه‌های شهری توجه شود (Campbell, 1996; Pakzad, Kalat & Pirzaman, 2024). این رویکرد می‌تواند در توسعه پایدار راهبردی یک منطقه و شهر مؤثر باشد (Wälitalo & Missimer, 2022). در چند دهه گذشته افزایش شهرگرایی و شهرنشینی منجر به تمرکز جمعیت در مناطق شهریِ مستعدِ مخاطرات محیطی و طبیعی، هم در کلان‌شهرها و هم در مراکز شهری کوچک و متوسط شده است (Gencer, 2013). به‌طورمثال دو خطر ژئوفیزیکی[1]، زلزله سال ۲۰۱۰ هائیتی[2] و زلزله و سونامی سال ۲۰۰۴ اندونزی بیشترین تلفات ناشی از بلایای طبیعی را داشته‌اند. از سوی دیگر، انواع مخاطرات هیدرومتولوژیک[3] نیز خطر غالب بوده‌اند که آسیا را عمدتاً با طوفان‌های استوایی و سیل، آفریقا با خشکسالی و اروپا را با تغییرات شدید دما و امواج گرما تحت تأثیر قرار داده است (World Bank & UN, 2010).

افزایش فراوانی، مدت و حساسیت آستانه‌های اقلیمی بیانگر این است که حدود ۹۰ درصد از مخاطرات طبیعی که در جهان به وقوع می‌پیوندند در ارتباط مستقیم با اقلیم هستند و طوفان‌ها بعد از سیلاب حدود ۳۰ درصد از این مخاطرات را شامل می‌شوند. این پدیده هرساله خسارات مالی و جانی فراوانی را به جامعه تحمیل می‌کند (Houghton, 1996; Tavosi & Raeispoor, 2011)؛ که از نظر موقعیت جغرافیایی مخاطرات طبیعی مانند طوفان در مناطق خشک، نیمه‌خشک و بیابانی دنیا به فراوانی رخ می‌دهند (Song, 2004;

[1] Geophysical hazards
[2] Haiti
[3] Hydro-meterological hazards

(Pilehvar, Jamshidzehi & Pirean kalat, 2022)؛ اما این طوفان‌ها فقط در مناطق منشأ رخ نمی‌دهند بلکه تا فواصل بسیار دورتر نیز حمل می‌شوند. در چند دهه اخیر به‌صورت فزاینده‌ای به پدیده طوفان با منشأ گردوغبار و با رویکرد مدیریتی توجه شده است (Liu et al., 2003)، این توجه به‌صورت مدیریتِ بحران و تجزیه‌وتحلیل خطرات و اثرات، هشدار و پیش‌بینی بوده است. ازاین‌رو مدیریت یکپارچهٔ بحران برگردهم آوردن تمامی سطوح مدیریتی همچون مدیریت بحران شهری تمرکز داشته و ماهیت غیرقابل‌پیش‌بینی و غیرقابل‌کنترل خطرات طبیعی مانند طوفان را متذکر شده‌اند (Kapucu, Hawkins & Rivera, 2013; Coppola, 2006). مدیریت بحران در سراسر جهان، از دهه ۱۹۸۰ تحولی از سیاست‌های بازسازی پس از فاجعه به مراحل آمادگی و کاهش پیش از بحران نمود پیدا کرده است (Balamir, 2007). ازآنجایی‌که هیچ مکانیزم مدیریت بحران کاملی در همه شهرها و کشورها وجود ندارد، دولت‌های مرکزی و محلی مجبورند راه‌حل-هایی را دنبال کنند که تا حدودی توانایی آن‌ها را برای مقابله با بحران‌ها ارتقا بخشد (Ocal, 2021). این فرایند به کمک روش‌های علمی پیش‌بینی و مدل‌های کاربردی پیشگیری موجب کاهش خطرپذیری کانون‌های شهری و روستایی در شکل مدیریت بحران شده است؛ بنابراین روش‌های پیش‌بینی در زمان و شدت وقوع بلایا می‌تواند نقش قابل‌توجهی در کنترل خطرات ناشی از بحران‌ها و برنامه‌ریزی مناسب در جهت توسعهٔ مناسب شهر، داشته باشد. بررسی‌ها نشان داده است حدود ۵۰ درصد از اراضی ایران خشک و بیابانی هستند و این مناطق در معرض طوفان و بادهای بسیار شدید است که مشکلات زیادی را در بخش زیرساختی و سکونتگاهی این نواحی پدید آورده است(Farajzadeh Asal & Alizadeh, 2010). استان سیستان و بلوچستان به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی تحت تأثیر مخاطرات طبیعی مانند طوفان، سیل و... قرار دارد. شهر خاش نیز به‌عنوان یکی از مناطق متأثر از پدیده طوفان، نیازمند توجه به ضرورت پایداری کالبدی-اجتماعی و در راستای توسعه پایدار راهبردی، نیازمند مدیریت بحران است.

بررسی‌های اولیه نشان داد طوفان‌های شهر خاش از مهم‌ترین مخاطرات این شهرستان بوده که همواره سبب خسارات فراوان جانی و مالی شده است. این طوفان‌ها در دوره گرم سال همراه با گردوخاک و در دوره سرد سال غالباً با رطوبت و بارش‌های شدید همراه است؛ بنابراین پیش‌بینی خطرپذیری طوفان‌های شهر خاش جهت مدیریت بحران و در راستای پایداری کالبدی و اجتماعی، یک ضرورت بوده که مورد غفلت واقع شده

است، پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینیِ دوره‌های خطرپذیری ناشی از بحران طوفان در شهر خاش به دو روش سری‌های جزئی و گامبل انجام گرفته است؛ این دو روش کاربردی از یک سو برای شناسایی زمانِ دوره‌های آسیب‌زا و خطرآفرین و از سوی دیگر برای تعیین میزان سرعت خطرپذیری مهم به نظر می‌رسند. لذا نتایج این پژوهش، در کاربست مدیریت بحران شهری و منطقه‌ای در وقوع پدیده طوفان در استان سیستان و بلوچستان و شهر خاش مؤثر است.

تاکنون در رابطه با مخاطرات محیطی و طبیعی مرتبط با موضوع این پژوهش مطالعات متعدد و متفاوتی در حوزه خارجی و داخلی انجام شده است؛ در حوزۀ مطالعات خارجی: یو (Yue, 2000) مدل لجستیکی گامبل را برای تجزیه‌وتحلیل توزیع حداکثری رخداد طوفانِ سالانه (حداکثر شدت بارش) در استانِ توکوشیمای[1] ژاپن، پیشنهاد می‌کند. در این پژوهش پارامترهای توزیع، با استفاده از روش گشتاورها[2] (MM) برآورد شدند. کوهنو و همکاران (Kohno et al., 2018) در پژوهشی به بررسی سیستمی برای پیش‌بینی طوفان پرداختند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که برای مقابله با طوفان باید سیستم پیش‌بینی طوفان، هشدارهای مؤثر به شهروندان و مسائل مرتبط به‌طور سیستماتیک بهبود یابند. کیم و همکاران(Kim, Pan & Mase, 2019)، با استفاده از یک روش انتخاب سیستماتیک و عینی برای توسعۀ یک مدل پیش‌بینی طوفان مبتنی بر شبکۀ عصبی مصنوعی(ANN- SFM)[3] با زمان ۵، ۱۲ و ۲۴ ساعت، کاربرد آن در ساکی میناتو[4] ژاپن را بررسی کردند. در کاربرد ANN-SFM در ساکای میناتو، مشخص شد که بهترین پیش‌بینی ۵ و ۱۲ ساعته با مناسب‌ترین مجموعۀ ۷۰ واحدی (تعداد نورون‌های پنهان) و مؤلفه‌های ورودی از سطح ایجاد می‌شود. در پیش‌بینی ۲۴ ساعته ANN-SFM مهم‌ترین پارامترهای ورودی که موجب بهبود نتایج شده‌اند: فشار سطح دریا، میزان کاهش فشار سطح دریا، طول و عرض جغرافیایی و بالاترین سرعت باد، می‌باشند. باجو(Bajo, 2020) با

---

[1] Tokushima
[2] Method of Moments
[3] Surge Forecast Model
[4] Sakai Minato area

استفاده از مدل تک‌بعدی کالمن فیلتر[۱] تلاش کرد که دقت پیش‌بینی طوفان در ونیز ایتالیا را بهبود دهد؛ در این مطالعه کاربرد روش پس‌پردازش برای اصلاح پیش‌بینی‌های تولید شده توسط یک مدل موج طوفان هیدرودینامیکی ارائه شد. روش کالمن فیلتر به سبب اجرای آسان، زمان محاسبات کم و نیاز به داده‌های ورودی کم ابزاری مهم و کاربردی برای این مطالعه است که در علوم آب و هواشناسی و اقیانوس‌شناسی ناشناخته است. در این مدل پیش‌بینی تا حدود دو روز قبل بهبود می‌یابد. نتایج وی نشان داد در مورد حوادث شدید، امکان به‌روزرسانی ساعتی برای ایجاد یک خطای کوچک در پیش‌بینی کوتاه‌مدت ضروری است.

پورغلام آمیجی و همکاران (Pourgholam Amiji, Ansari Ghojghar, Bazrafshan, Liaghat & Araghinejad, 2020)، پژوهشی با هدف مقایسۀ عملکرد مدل‌های سری زمانی با روش‌های هوش مصنوعی، به‌منظور پیش‌بینی فراوانیِ روزهای طوفان گردوغبار[۲] (FDSD) در استان سیستان و بلوچستان به انجام رساندند. نتایج نشان داد که با کاهش فراوانی روزهای همراه با طوفان گردوغبار در ایستگاه‌های سراوان و خاش، مدل‌های سری زمانی عملکرد تقریباً مشابهی نسبت به روش‌های هوش مصنوعی دارند. کیانی و همکاران (Kiyani, Kiyani & Behdarvand, 2021)، احتمالِ وقوع طوفان‌های شدید را با استفاده از توزیع گامبل در شهرستان نهاوندِ استان همدان، بر اساس ۱۰ دورۀ زمانی از سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۸۴ بررسی کردند؛ بر اساس شاخص بوفورت[۳] در دوره بازگشت ۵ ساله با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه و بالاتر، احتمال وقوع طوفان در ایستگاه نهاوند وجود دارد. از سوی دیگر بیشترین رعدوبرق استان همدان در ایستگاه نهاوند رخ داده و بیشترین تعداد آن در فصل بهار است که در صورت تداوم طوفان خسارات فراوانی بجای خواهد گذاشت.

در حوزه پژوهش‌های داخلی نیز تحقیقات ارزشمندی تاکنون ارائه شده است: طاووسی و رئیسی‌پور (Tavosi & Raeispoor, 2011)، با استفاده از مدل سری‌های جزئی، پیش‌بینی دوره‌های بازگشت طوفان را در دشت سیستان بررسی کردند؛ چنان که نتایج تحلیل، سرعت طوفان‌های شدید دشت سیستان در دوره بازگشت ۱۰۰

---

[۱]- Kalman filter که به عنوان تخمین خطی مرتبه دوم نیز از آن یاد می‌شود، الگوریتمی است که حالت یک سیستم پویا را با استفاده از مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های شامل خطا در طول زمان برآورد می‌کند. این فیلتر معمولاً تخمین دقیق‌تری را نسبت به تخمین بر مبنای یک اندازه‌گیری واحد را بر مبنای استنباط بیزی و تخمین توزیع احتمال مشترکی از یک متغیر تصادفی در یک مقطع زمانی ارائه می‌کند؛ این فیلتر از نام رودولف ای کالمن، یکی از پایه‌گذاران این تئوری گرفته شده‌است (Kalman, 1960).

[2] Frequency of Dust Storm Days (FDSD)

[3] Beaufort Index

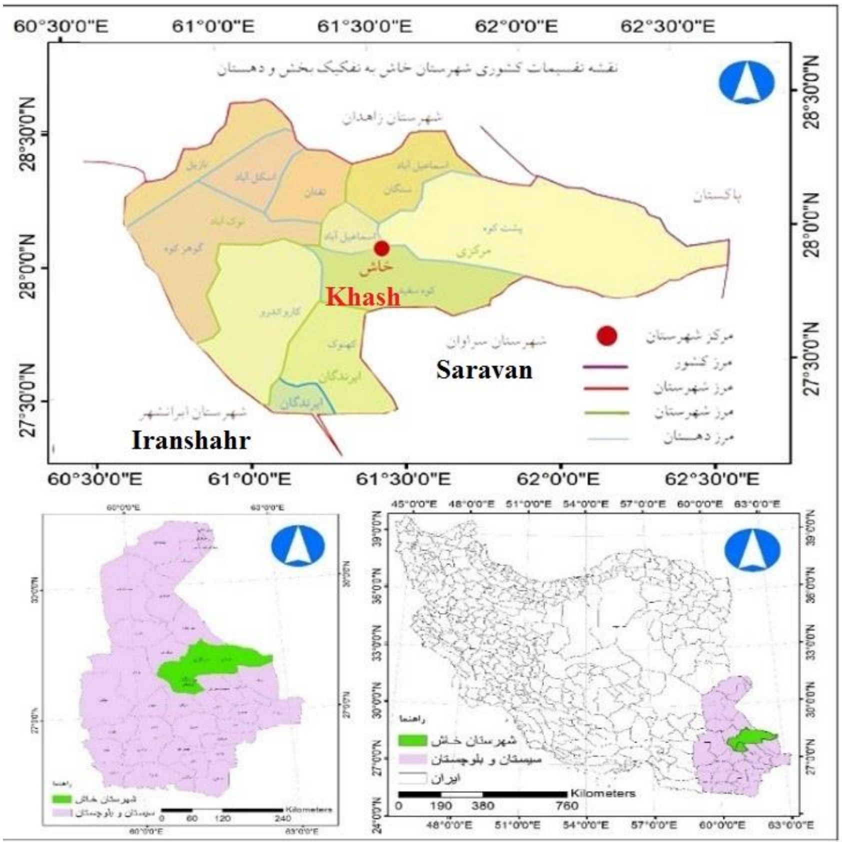
ساله نشان داد که وزش تندبادهایی با سرعت نزدیک به ۱۴۴ کیلومتر در ساعت، در دشتِ کم‌وبیش هموار سیستان محتمل است؛ بنابراین، در برنامه‌ریزی‌های شهری و منطقه‌ای و ایمن‌سازی سازه‌ها بایستی وقوع این مخاطره طبیعی را مدنظر قرار داد تا در صورت وقوع، خسارات وارده به حداقل ممکن کاهش یابد. خدابنده (Khodabandeh, 2012)، تندبادهای شرق اصفهان را بر پایهٔ بررسی بیشینهٔ روزانهٔ سرعت باد با مدل آماری تجزیه‌وتحلیل سری‌های جزئی و نیز با استفاده از مدل ویبول بررسی کرده است. این پژوهش احتمال وزش بادهایی با سرعت ۲۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه را برای منطقه شرق اصفهان پیش‌بینی کرده است. رئیسی‌پور و همکاران (Raeispoor, Beykrezaei & Tavoosi, 2013)، بیشینهٔ روزانهٔ سرعت باد در استان کرمانشاه را با روش تجزیه‌وتحلیل سری‌های جزئی تحلیل کرده‌اند؛ نتایج این پژوهش بیانگر این مهم است که: احتمال وزش بادهای شدید در هرسال با سرعتی دست‌کم برابر با ۱۸ متر در ثانیه در استان کرمانشاه نزدیک به ۱۰۰ درصد است. حسینی (Hosseini, 2012)، طوفان‌های ماسه‌ای منطقهٔ سیستان را با روش همدید موردمطالعه قرار داده، برای انجام این پژوهش از داده‌های اقلیمی شهرستان زابل استفاده گردید؛ نتایج پیش‌بینی‌ها نشان داد که: در هر دورهٔ بازگشت ۱ ساله، احتمال وزش طوفان تا سرعت ۱۸/۸۳۵ متر بر ثانیه نزدیک به ۰/۵۰۰ درصد است. همچنین برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بیشترین سرعت طوفان ۳۴/۳۴۷ متر بر ثانیه خواهد بود محمدخان (Mohammadkhan, 2017)، تغییرات طوفان‌های گردوغبار در ایران را برای بازه زمانی ۱۳۸۴–۱۳۶۴ موردمطالعه قرار داد. نتایج مؤید آن است که به ترتیب با تبخیر، دما و بارش دارای همبستگی می‌باشند. ولی با ژئومورفولوژی و ارتفاع دارای همبستگی نمی‌باشند. دلیل این امر را می‌توان در منشأ خارجی ریزگردها، ارتفاع بالای حرکت آن‌ها و نقش رطوبت در نشست آن‌ها جستجو کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ موردمطالعه

شهر خاش با ارتفاع ۱۳۹۴ متر از سطح آب‌های آزاد در جنوب‌شرق ایران واقع شده است. پس از تبدیل‌شدن بخش نوک‌آباد به شهرستان جدید تفتان، مساحت شهرستان خاش به حدود ۱۵۰۶۷ کیلومترمربع کاهش یافت. این شهرستان از شمال به شهرستان‌های میرجاوه و تفتان، از جنوب‌غرب و غرب به شهرستان ایرانشهر، از

جنوب و جنوب‌شرق به شهرستان‌های سراوان، سیب سوران و از شرق به کشور پاکستان محدود شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig.1. The location of the study area

۲-۲ روش مطالعه

روش انجام پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی، و نوع آن کاربردی است. به‌منظور دستیابی به هدف پژوهش و آمار و اطلاعات موردنیاز در رابطه با موضوع موردمطالعه به روش اسنادی-کتابخانه‌ای، اطلاعات گردآوری شد. داده‌ها مورداستفاده در این پژوهش شامل آخرین داده‌های بیشینه باد روزانه ایستگاه سینوپتیک شهر خاش می‌باشد که از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷ به ثبت رسیده است (جدول۱). تغییرات بیشینه باد شهر خاش نشان

می‌دهد که سرعت باد از دهه ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۷ یعنی آخرین سالی که داده‌های سینوپتیکی ثبت شده، همواره در حال افزایش بوده است. این وضعیت در شکل شماره ۲ نشان داده می‌شود (شکل ۲).

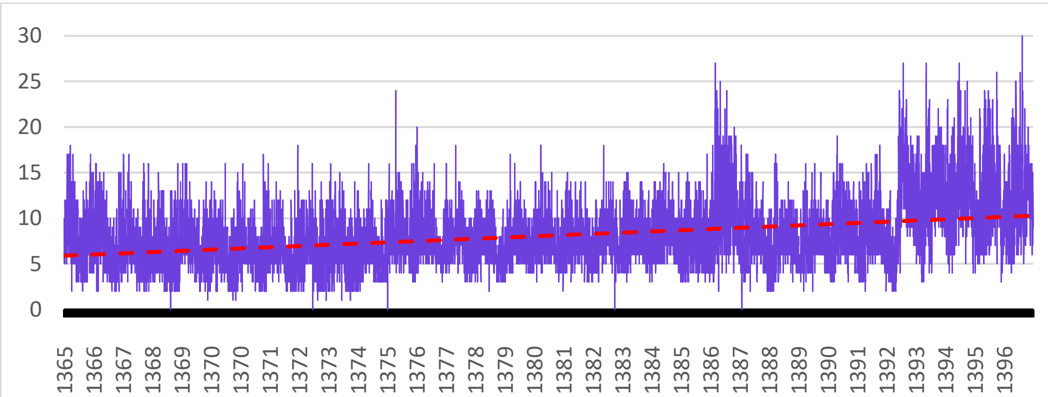
جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی شهر خاش

Table 1- The location of the Meteorological Station in Khash

نام ایستگاه Station name	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع Elev.	طول دوره آماری The statistical period	نوع ایستگاه Type of station
خاش Khash	61 ° 12 '	28 ° 13 '	1394	1986–2018	سینوپتیک Synoptic

منبع: سازمان هواشناسی سیستان و بلوچستان، ۱۴۰۰

Source: Weather Organization of Sistan and Baluchestan 2021



شکل ۲- تغییرات بیشینه باد روزانهٔ شهر خاش از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷

(منبع: سازمان هواشناسی سیستان و بلوچستان،۱۴۰۰)

Fig.2. Daily Maximum Wind Speed Changes in the City of Khash from 1986 to 2018

Source: Weather Organization of Sistan and Baluchestan 2021

طول بازه زمانی دوره موردمطالعه بر اساس داده‌های موجود از ۱۳۶۵/۰۲/۱۱ تا ۱۳۹۷/۰۶/۳۱ (۱۱۷۶۸روز) می‌باشد که بر اساس آستانهٔ سرعت طوفان بر اساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی[1] (۱۵ متر در ثانیه)، روزهای طوفانی شهر خاش استخراج می‌شود. صحت و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون دنباله‌ها (Run Test) انجام شد که تفسیر و نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

[1] World Meteorological Organization (WMO)

جدول ۲- نتایج آزمون Run-Test برای داده‌های بیشینه سرعت باد روزانه شهر خاش (۱۳۶۵-۱۳۹۷)

Table 2- The results of the Run-Test for the maximum daily wind speed data of Khash city (1986-2018)

متغیرها Variables پارامتر ارزیابی Evaluation parameter	بیشینه سرعت باد Max. wind speed Based on (بر اساس میانه) (median	بیشینه سرعت باد Max. wind speed Based on (بر اساس میانگین) (mean
Test Value	7.00	8.0907
Cases < Test Value	4350	7477
Cases >= Test Value	7418	4291
Total Cases	11768	۱۱۷۶۸
Number of Runs	3606	3302
Z	-37.172	۸۱/۴۲-
Asymp.Sig.(2-tailed)	0.000	0.000

آزمون فرض: H_0 توالی گردش‌ها تصادفی است

H_1: توالی گردش‌ها تصادفی نیست

آماره آزمون: Number of Runs,

R= Z= |Z|

مقدار بحرانی: $Z_{0.01}= 2.327$

چون $|Z| > Z_{0.01}=2.327$ ها می‌باشند فرض H_0 رد می‌شود. پس توالی گردش داده‌ها تصادفی نیست. پس از بررسی همگنی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار ترسیم گلباد، گل‌طوفان‌های فصلی شهر خاش ترسیم شده است. برای بررسی احتمال و پیش‌بینی رخداد طوفان از دو روش گامبل و سری‌های جزئی استفاده شده است.

تابع چگالی احتمال در روش گامبل (توزیع حد نهایی نوع اول[1]) به‌صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود (Yue, 2000; Mahdavi,2006):

رابطه ۱. $$f(x) = \frac{1}{\alpha} exp\left[\pm\frac{x-b}{a} - exp\left(\pm\frac{x-b}{a}\right)\right] \qquad -\infty < x < +\infty$$

که احتمال تجاوز متغیر بیش از یک مقدار معین از رابطه ۲، تعیین می‌شود:

[1] Extreme value type 1

رابطه ۲.
$$F(x) = 1 - e^{-e^{-Y}}$$

همچنین برای برآورد احتمال رخداد رویداد حدی در دوره‌های بازگشت مختلف از روابط ۳ و ۴ استفاده می‌شود:

رابطه ۳.
$$X_{T_r} = \bar{X} + k.s$$

رابطه ۴.
$$y = -ln\left[-ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]$$

برای انجام محاسبات در روش سری‌های جزئی نیز از روابط ۵ و ۶ استفاده می‌شود (Bhunya, Singh, Berndtsson & Panda, 2012; Mahdavi,2006; Cunnane, 1979):

رابطه ۵.
$$\lambda(f) = \frac{M}{N}$$

که در آن M تعداد داده‌های سری جزئی و N تعداد سال‌های آماری است. با در نظر گرفتن توزیع نمایی[1]، مقدار β از رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه ۶.
$$\beta = \sum_{i=1}^{M} (W_i - W_o)/M$$

همچنین طوفان با دوره بازگشت موردنظر و متوسط سرعت طوفان‌ها از روابط ۷ و ۸ محاسبه می‌شود:

رابطه ۷.
$$W_T = \left(W_o + (\beta \times Ln\, \lambda) + (\beta \times Ln\, T)\right)$$

رابطه ۸.
$$\bar{W} = \left(W_o + (\beta \times Ln\, \lambda) + (0.5772 \times \beta)\right)$$

۳-نتایج و بحث

به‌منظور بررسی طوفان‌های شهر خاش ابتدا بادهای با سرعت پایه بیش از ۱۵ متر بر ثانیه طی بازه زمانی ۱۳۶۵-۱۳۹۷ برای ماه‌ها و فصول مختلف به تفکیک استخراج شد. سپس به بررسی آماری آن‌ها پرداخته شد و گل طوفان‌های ماه‌های مختلف و فصول سال ترسیم و درنهایت نتایج پیش‌بینی آماری با دو روش گامبل و

[1] Exponential distribution

سری‌های جزئی ارائه و تحلیل شد. بر اساس داده‌های موجود طی بازه زمانی ۹۷–۱۳۶۵ میانگین رخداد طوفان حدوداً ۲۰ روز در سال محاسبه گردید. همچنین ویژگی‌های آماری طوفان‌ها برای ماه، فصل و سال بر اساس آماره‌های فراوانی، میانگین، انحراف معیار، واریانس، چولگی، تیزی، کمینه و بیشینه با استفاده از نرم‌افزار SPSS 23 محاسبه شد، که نتایج در جدول ۳ نمایش داده شده‌اند.

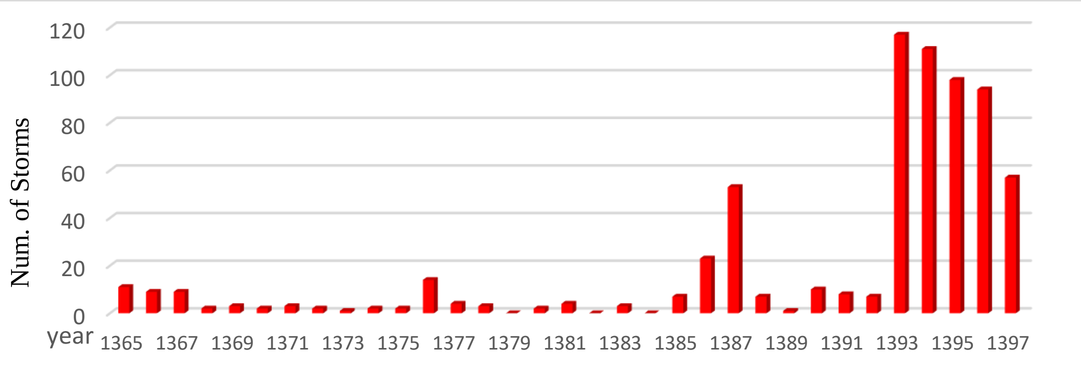
جدول ۳- ویژگی‌های آماری طوفان‌های شهر خاش (۱۳۹۷-۱۳۶۵)

Table 3- Statistical characteristics of storms in Khash City (1986-2018)

ماه Month	بیشینه Max	کمینه Min	تیزی Kurtosis	چولگی Skewness	واریانس Variance	انحراف معیار Standard deviation	میانگین سرعت باد (متر در ثانیه) Average wind speed	تعداد طوفان Num. of Storms	تعداد داده Num
فروردین Apr	22	15	-0.25	0.78	4.48	2.12	17.04	0.73	24
اردیبهشت May	27	15	-0.46	1.04	8.11	2.85	17.95	1.85	61
خرداد Jun	27	15	0.31	0.96	9.10	3.02	18.08	2.27	75
تیر Jul	27	15	0.16	0.98	9.25	3.04	18.11	2.55	84
مرداد Aug	30	15	6.35	2.33	8.04	2.84	17.10	2.55	84
شهریور Sep	24	15	3.00	1.73	4.86	2.20	16.97	2.15	71
مهر Oct	26	15	4.09	1.84	4.76	2.18	17.10	2.94	97
آبان Nov	21	15	-0.11	0.75	2.05	1.43	16.60	2.55	84
آذر Dec	20	15	0.73	1.19	1.96	1.40	16.38	1.12	37
دی Jan	19	15	0.05	0.96	1.56	1.25	16.00	0.58	19
بهمن Feb	23	15	0.60	1.14	6.23	2.50	17.69	0.39	13
اسفند Mar	22	15	1.69	1.42	3.96	1.99	16.80	0.61	20
زمستان Winter	27	15	0.51	1.03	8.07	2.84	17.88	4.85	160
بهار Spring	30	15	2.72	1.64	7.72	2.78	17.41	7.24	239
تابستان Summer	26	15	4.99	1.82	3.30	1.82	16.78	6.61	218

پاییز Fall	23	15	2.11	1.51	3.93	1.98	16.73	1.58	52
سالانه	30	15	2.81	1.61	6.24	2.50	17.27	20.27	669

مطابق جدولِ ۳، در کل دوره آماری، ۶۶۹ مورد رخداد طوفان (سرعت بیش از ۱۵ متر بر ثانیه) در شهر خاش رخ داده است که بیشترین رخداد طوفان در فصل بهار (۲۳۹ رخداد) و کمترین رخداد طوفان در فصل پاییز (۵۲ رخداد) به وقوع پیوسته است. همچنین بیشترین رخداد طوفان در ماه مهر (۹۷) و کمترین رخداد طوفان در ماه بهمن (۱۳) اتفاق افتاده‌است. شدیدترین طوفان‌ها در تیر و ضعیف‌ترین طوفان‌ها در دی به وقوع پیوسته است. از نظر فصلی نیز به‌طور میانگین بیشترین رخداد طوفان در فصل بهار (۷/۲۴ مورد) و کمترین رخداد طوفان در فصل پاییز (۱/۵۸ مورد) بوده است. بازۀ فصلی زمستان شدیدترین طوفان‌ها و پاییز ضعیف‌ترین طوفان‌ها را به‌طور میانگین تجربه کرده است. ولی در مجموع شدیدترین طوفان با سرعت ۳۰ متر بر ثانیه در ماه می (فصل بهار) رخ داده است. شکل فراوانی رخداد طوفان در سال‌های مختلف نشان می‌دهد که در انتهای دوره آماری به‌طور چشمگیری رخداد طوفان افزایش یافته‌است، از سال ۱۳۹۳ تا انتهای دوره هرسال بیش از ۵۰ رخداد طوفان به وقوع پیوسته ولی قبل از آن فقط در سال ۱۳۸۷ تعداد طوفان‌ها به بیش از ۵۰ مورد به ثبت رسیده و در سایر سال‌ها کمتر از ۱۰ مورد به وقوع پیوسته است (شکل ۳).



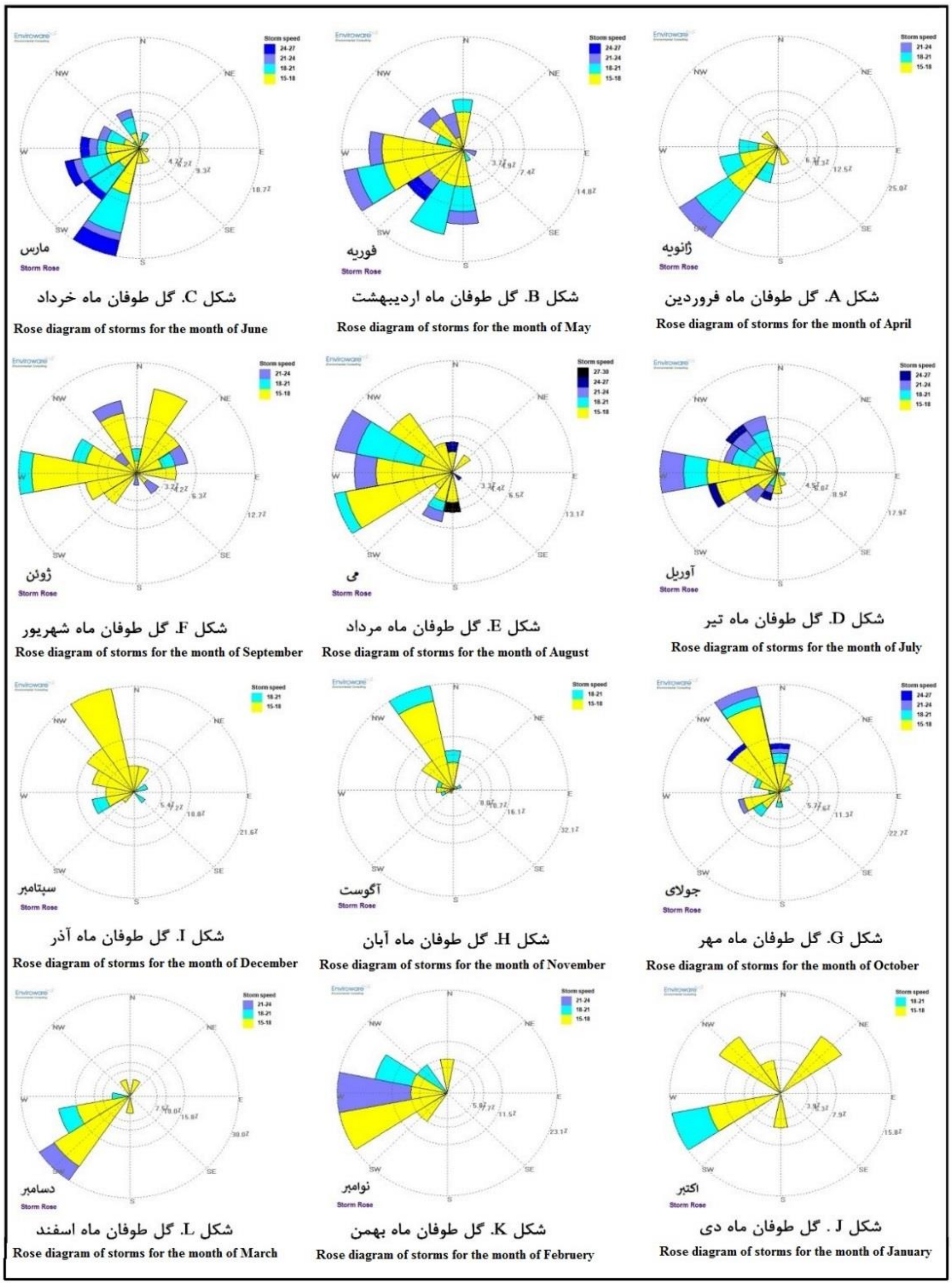
شکل ۳- فراوانی رخداد طوفان در شهر خاش (۱۳۶۵-۹۷)

Fig.3. Frequency of storm occurrences in Khash City (1986-2018)

بر اساس داده‌های سرعت باد بیش از ۱۵ متر بر ثانیه گل طوفان‌های ماهانه، فصلی و سالانه شهر خاش با نرم‌افزار WRPLOT 8.0.2 برای شدت و جهت وزش طوفان‌ها برای سال‌های مورد بررسی یعنی سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷ترسیم شد.

در فروردین، جهت غالب وزش طوفان‌ها جنوب‌غربی است. همچنین شدیدترین طوفان‌ها نیز از همین جهت وزیده‌اند (شکل(A)۴). در اردیبهشت جهت وزش طوفان‌ها بین جهت جنوبی تا غربی متغیر است، در این ماه شدیدترین طوفان‌ها جهت جنوب‌غربی دارند و نیز وزش طوفان از سمت شمال و شمال‌غرب به‌وقوع پیوسته است(شکل(B)۴). در ماه خرداد، طوفان‌ها غالباً جهتی بین جنوب‌غرب تا شمال‌غرب دارند که فراوانی رخداد طوفان‌های جنوب‌سو بیشتر است(شکل(C)۴). در ماه تیر غالب طوفان‌ها از سمت غرب وزیده‌اند، لیکن وزش طوفان در جهات جنوب‌غربی تا شمال‌غربی نیز رخ داده که اتفاقاً در این جهات طوفان‌ها قوی‌تر بوده‌اند (شکل(D)۴). غالب طوفان‌های ماه مرداد در جهات بین جنوب‌غرب تا غرب و غرب تا شمال‌غرب وزیده‌اند. قوی‌ترین طوفان‌های این ماه از سمت جنوب و شمال وزیده‌اند(شکل(E)۴). تنوع جهت وزش طوفان‌ها در ماه شهریور بیشتر است، در این ماه تقریباً وزش طوفان از تمام جهات رخ داده ولی فراوانی رخداد طوفان از سمت غرب بیشتر است. شدیدترین طوفان‌ها جهت شمال‌غربی، شمال‌شرقی، جنوب‌شرقی و جنوبی را داشته‌اند (شکل(F)۴). در ماه‌های مهر، آبان و آذر بیشترین فراوانی رخداد طوفان از سمت بین شمال‌غرب تا شمال است. شدیدترین طوفان‌ها در ماه‌های مهر و آبان جهتی بین شمال‌غرب تا شمال دارند. به‌طور محدود از سمت جنوب‌غرب نیز طوفان‌های شدیدی وزیده‌است(شکل‌های(G,H,I)۴). ولی در آذر شدیدترین طوفان‌ها از سمت جنوب‌غرب، جنوب‌شرق و شمال‌شرق وزیده‌اند(شکل(I)۴). بیشترین و شدیدترین طوفان‌های ماه دی از جهتِ جنوب‌غرب تا غرب بوده است. این ماه که تقریباً آرام‌ترین ماه سال محسوب می‌شود، وزش طوفان از جهت‌های شمال‌غرب، شمال شرق و جنوب انجام شده است(شکل(J)۴). بیشترین فراونی رخداد طوفان در ماه بهمن نیز از سمت غرب است، در این ماه، شدیدترین وزش طوفان بین جهت غرب تا شمال‌غرب می‌باشد. در این ماه به‌طور محدودتر از جهت‌های جنوب‌غربی، شمال‌غربی و شمال طوفان رخ داده است(شکل(K)۴). بیشترین فراوانی رخداد طوفان در ماه اسفند از سمت جنوب‌غرب و بعد از آن مابین جهات جنوب‌غرب تا غرب است. شدت وزش طوفان نیز در

همین جهات مشاهده می‌شود. در این ماه به‌طور محدود از جهات دیگر نیز طوفان رخ داده است(شکل (L)۴).



شکل A. گل طوفان ماه فروردین
Rose diagram of storms for the month of April

شکل B. گل طوفان ماه اردیبهشت
Rose diagram of storms for the month of May

شکل C. گل طوفان ماه خرداد
Rose diagram of storms for the month of June

شکل D. گل طوفان ماه تیر
Rose diagram of storms for the month of July

شکل E. گل طوفان ماه مرداد
Rose diagram of storms for the month of August

شکل F. گل طوفان ماه شهریور
Rose diagram of storms for the month of September

شکل G. گل طوفان ماه مهر
Rose diagram of storms for the month of October

شکل H. گل طوفان ماه آبان
Rose diagram of storms for the month of November

شکل I. گل طوفان ماه آذر
Rose diagram of storms for the month of December

شکل J . گل طوفان ماه دی
Rose diagram of storms for the month of January

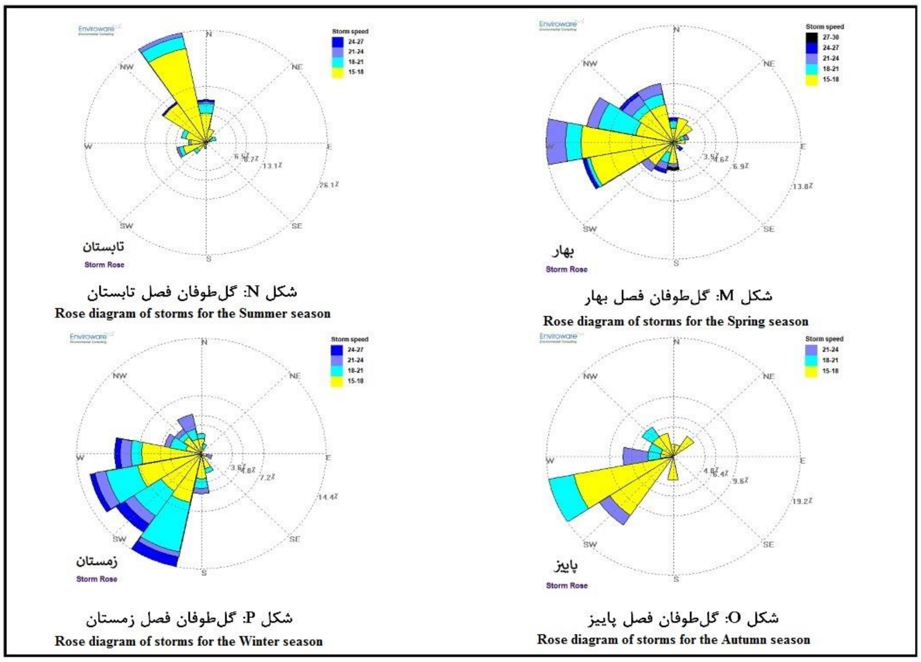
شکل K. گل طوفان ماه بهمن
Rose diagram of storms for the month of February

شکل L. گل طوفان ماه اسفند
Rose diagram of storms for the month of March

شکل ۴- گل‌طوفان‌های شهر خاش در دوازده ماهِ سال (۱۳۹۷-۱۳۶۵)

Fig.4. Rose diagram of storms in Khash city across the twelve months of the year (1986-2018)

گل طوفان‌های فصلی و سالانه نیز بر اساس داده‌های ثبت شده بین سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷ سرعت و جهت باد بیش از ۱۵ متر بر ثانیه ترسیم شده است. بر این اساس تنوع وزش طوفان در فصل بهار بسیار زیاد بوده و از تمام جهات تقریباً شهر خاش شاهد ورود طوفان است. لیکن جهت غالب طوفان‌ها در فصل بهار، غربی، جنوب‌غربی و شمال‌غربی است. با این وجود شدیدترین طوفان این فصل، که اتفاقاً شدیدترین طوفان شهر خاش طی دوره آماری محسوب می‌شود، از سمت جنوب وزیده‌اند (شکل(M)۵). در تابستان بیشترین فراوانی طوفان از سمت شمال غرب بوده، در این فصل از سمت‌های شمال، جنوب غرب و به‌طور محدودتر از بقیه جهات طوفان‌های ضعیفی به وقوع پیوسته‌است (شکل(N)۵). در فصل پاییز که آرام‌ترین فصل سال است، طوفان‌ها غالباً از سمت جنوب غرب می‌وزند ولی شدیدترین طوفان‌ها جهت غربی و جنوب‌غربی دارند (شکل(O)۵). فصل زمستان که منطبق بر ورود هوای سرد و بارندگی است، با افزایش فراوانی طوفان‌ها همراه بوده، در این فصل غالب طوفان‌ها از سمت جنوب غرب و غرب می‌وزند، همچنین جهت وزش شدیدترین طوفان‌های این فصل نیز منطبق بر همین جهات است (شکل(P)۵).



شکل N: گل‌طوفان فصل تابستان
Rose diagram of storms for the Summer season

شکل M: گل‌طوفان فصل بهار
Rose diagram of storms for the Spring season

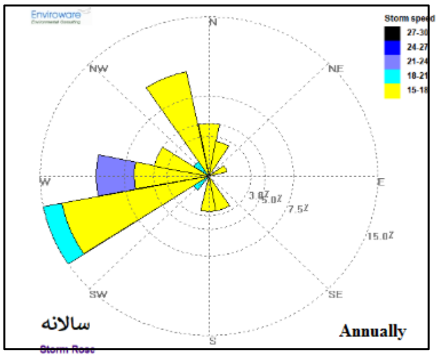
شکل P: گل‌طوفان فصل زمستان
Rose diagram of storms for the Winter season

شکل O: گل‌طوفان فصل پاییز
Rose diagram of storms for the Autumn season

شکل ۵- گل‌طوفان‌های شهر خاش در فصول چهارگانه (۱۳۹۷-۱۳۶۵)

Fig. 5. Rose diagram of storms in Khash city for the four seasons (1986-2018)

در مجموع گل‌طوفان سالانه شهر خاش بر اساس داده‌های ثبت شده (۱۳۶۵ تا۱۳۹۷) نشان می‌دهد بیشترین فراوانی رخداد طوفان منطبق بر جهات جنوب‌غربی، شمال‌غربی و غرب است که منطبق بر جهت شدیدترین طوفان‌های شهر خاش نیز می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۶- گل طوفان سالانه شهر خاش

Fig. 6. Annual rose diagram of stoorms in Khash City

۳-۱- پیش‌بینی آماری طوفان‌های خاش با روش گامبل

پس از انجام محاسبات با روش توزیع گامبل برای بازه ماهانه، فصلی و سالانه، احتمال و دوره بازگشت ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله طوفان‌ها با شدت مختلف به دست آمد که نتایج در جداول ۴ و ۵ نمایش داده شده‌اند. در دورهٔ بازگشت یک سالهٔ طوفان، در هیچ ماهی طوفان (سرعت ۱۵ متر بر ثانیه و بیشتر) نخواهد بود. ولی در دوره بازگشت دو ساله در همه ماه‌ها احتمال رخداد طوفان وجود دارد. شدیدترین طوفان برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای ماه تیر، با سرعت ۲۹/۱ متر بر ثانیه محاسبه شد. ماه‌های اردیبهشت تا مرداد، پتانسیل رخداد شدیدترین طوفان‌ها را در شهر خاش دارند و ماه‌های دی، آذر و آبان، آرام‌ترین ماه‌های سال در شهر خاش هستند.

جدول ۴- پیش‌بینی طوفان‌های ماهانه شهر خاش در توزیع گامبل

Table 4- Monthly storm prediction for Khash city in the Gumbel distribution

ماه	**Probability** احتمال	٪ **1**	٪ **2**	٪ **5**	٪ **10**	٪ **20**	٪ **50**	٪ **99**

Month	دورهٔ بازگشت (سال) Return Period(yr)	100	50	20	10	5	2	1
	Apr.فروردین	24.7	23.4	21.6	20.3	18.9	16.7	12.8
	Mayاردیبهشت	28.3	26.5	24.1	22.3	20.4	17.5	12.2
	Jun.خرداد	29	27.1	24.6	22.7	20.7	17.6	12
	Jul.تیر	29.1	27.2	24.7	22.8	20.7	17.6	11.9
	Aug.مرداد	27.4	25.6	23.3	21.4	19.5	16.7	11.4
	Sep.شهریور	24.9	23.6	21.7	20.3	18.9	16.6	12.5
	Oct.مهر	25	23.6	21.8	20.4	19	16.8	12.7
	Nov.آبان	21.8	20.9	19.7	18.8	17.8	16.4	13.7
	Dec.آذر	21.4	20.6	19.4	18.5	17.6	16.2	13.5
	Jan.دی	20.5	19.7	18.7	17.9	17.1	15.8	13.5
	Feb.بهمن	26.8	25.2	23.1	21.5	19.8	17.3	12.6
	Mar.اسفند	24	22.8	21.1	19.8	18.5	16.5	12.8

نتایج محاسبات بازه زمانی فصلی و سالانه نشان داد که در دورهٔ بازگشت ۱ ساله احتمال رخداد طوفان وجود ندارد و عملاً از دوره بازگشت ۲ ساله می‌توان شاهد رخداد طوفان بود. از نظر فصلی در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله شدیدترین طوفان‌ها در زمستان و بهار و کم شدت‌ترین طوفان‌ها در فصل تابستان به وقوع خواهد پیوست. در زمستان که رخداد طوفان‌ها گاه همراه با بارش شدید است و احتمال رخداد توامان طوفان و سیلاب وجود دارد که اهمیت مخاطره را دو چندان خواهد کرد. لذا این محاسبات پایه علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی و همچنین انطباق مقاومت انواع سازه با شدت آن می‌باشد تا از این طریق میزان خسارات به حداقل برسد.

جدول ۵- پیش‌بینی طوفان‌های فصلی و سالانه شهر خاش در توزیع گامبل

Table 5- Prediction of seasonal and annual storms in Khash city using the Gumbel distribution

فصل و سال Season & year	Probabilityاحتمال	٪ 1	٪2	٪5	٪10	٪20	٪ 50	٪ 99
	دورهٔ بازگشت (سال) (Return period yr)	100	50	20	10	5	2	1
Winter زمستان		28.2	26.4	24.0	22.2	20.3	17.4	12.1
Spring بهار		27.5	25.8	23.5	21.7	19.8	17	11.8
Summer تابستان		23.4	22.2	20.7	19.6	18.3	16.5	13.1
Autumn پاییز		23.9	22.7	21	19.8	18.4	16.4	12.7
Annually سالانه		26.3	24.8	22.7	21.1	19.4	16.9	12.2

۲-۳- پیش‌بینی آماری طوفان‌های خاش با روش سری‌های جزئی

با انجام محاسبات به کمک معادلات روش سری‌های جزئی برای بازه ماهانه، فصلی و سالانه، احتمال و دورهٔ بازگشت ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله طوفان‌ها با شدت مختلف به دست آمد. پارامترهای محاسبه روش سری‌های جزئی برای بازه زمانی ماهانه در جدول۶ نشان داده شده است. بیشترین طوفان‌ها در ماه‌های مهر، تیر، مرداد و آبان و کمترین آن در ماه‌های بهمن، دی، اسفند و فروردین اتفاق افتاده‌است.

جدول ۶- محاسبه پارامترهای سری جزئی برای بازه زمانی ماهانه شهر خاش

Table 6- Calculation of partial series parameters for the monthly time period of Khash city

ماه Month	تعداد طوفان Number of Storms	ʎ	β	β*lnʎ	$\overline{w}$
Jul.تیر	84	2.55	3.11	2.90	19.7
Aug.مرداد	84	2.55	2.10	1.96	18.2
Sep.شهریور	71	2.15	1.97	1.51	17.6
Oct.مهر	97	2.94	2.10	2.27	18.5
Nov.آبان	84	2.55	1.60	1.49	17.4
Dec.آذر	37	1.12	1.38	0.16	16.0
Jan.دی	19	0.58	1.00	-0.55	15.0
Feb.بهمن	13	0.39	2.69	-2.51	14.0
Mar.اسفند	20	0.61	1.80	-0.90	15.1
Apr.فروردین	24	0.73	2.04	-0.65	15.5
Mayاردیبهشت	61	1.85	2.95	1.81	18.5
Jun.خرداد	75	2.27	3.08	2.53	19.3

در بازه زمانی ماهانه در ماه‌های دی، بهمن، اسفند و فروردین در دوره بازگشت یک ساله احتمال رخداد طوفان (سرعت ۱۵ متر بر ثانیه و بیشتر) وجود ندارد. ولی در سایر ماه‌ها احتمال رخداد طوفان وجود داشته، که شدیدترین آن در ماه تیر با سرعت ۱۷/۹ متر بر ثانیه می‌باشد. در دوره بازگشت دو ساله فقط در ماه بهمن احتمال رخداد طوفان وجود ندارد و در سایر ماه‌ها احتمال رخداد طوفان انتظار وجود دارد. برای دوره بازگشت ۲ ساله نیز احتمال وزش شدیدترین طوفان‌ها برای ماه‌های تیر و خرداد است. در کل شدیدترین طوفان‌ها برای دوره‌های بازگشت مختلف در ماه‌های تیر، خرداد و اردیبهشت و ضعیف‌ترین طوفان‌ها برای ماه‌های بهمن، دی، آذر و اسفند پیش‌بینی شد (جدول۷).

جدول ۷- پیش‌بینی طوفان‌های ماهانه شهر خاش به روش سری‌های جزئی

Table 7– Monthly storm prediction for Khash city using partial series method

ماه Month	احتمال Probability	٪ 99	٪ 50	٪20	٪10	٪5	٪2	٪1
	دوره بازگشت Return period	1	2	5	10	20	50	100
	Jul.تیر	17.9	20.1	22.9	25.1	27.2	30.1	32.2
	Aug.مرداد	17.0	18.4	20.3	21.8	23.2	25.2	26.6
	Sep.شهریور	16.5	17.9	19.7	21.1	22.4	24.2	25.6
	Oct.مهر	17.3	18.7	20.7	22.1	23.6	25.5	27.0
	Nov.آبان	16.5	17.6	19.1	20.2	21.3	22.7	23.8
	Dec.آذر	15.2	16.1	17.4	18.3	19.3	20.5	21.5
	Jan.دی	14.4	15.1	16.1	16.8	17.4	18.4	19.1
	Feb.بهمن	12.5	14.4	16.8	18.7	20.6	23.0	24.9
	Mar.اسفند	14.1	15.3	17.0	18.2	19.5	21.1	22.4
	Apr.فروردین	14.3	15.8	17.6	19.1	20.5	22.3	23.8
	Mayاردیبهشت	16.8	18.9	21.6	23.6	25.7	28.4	30.4
	Jun.خرداد	17.5	19.7	22.5	24.6	26.8	29.6	31.7

پارامترهای مورد نیاز برای برآورد شدت طوفان‌های فصلی و سالانه در جدول شمارۀ ۸ نمایش داده شده است؛ بیشترین رخداد طوفان متعلق به فصل بهار و کمترین آن متعلق به فصل پاییز است.

جدول ۸- محاسبه پارامترهای سری جزئی برای بازه زمانی فصلی و سالانه شهر خاش

Table 8– Calculation of partial series parameters for seasonal and annual time periods in Khash city

فصل و سال Season & year	تعداد طوفان Number of Storms	λ	B	β*lnλ	$\bar{W}$
Spring بهار	239	7.24	2.41	4.78	21.2
Summer تابستان	218	6.61	1.78	3.37	19.4
Autumn پاییز	52	1.58	1.73	0.79	16.8
Winter زمستان	160	4.85	2.88	4.54	21.2
Annually سالانه	669	20.27	2.27	6.82	23.1

در بازه زمانی فصلی و سالانه در تمام دوره‌های بازگشت احتمال رخداد طوفان وجود دارد. تقریباً در تمام دوره‌های بازگشت و احتمالات شدیدترین طوفان‌ها در فصل‌های زمستان و بهار اتفاق خواهد افتاد. بطوریکه

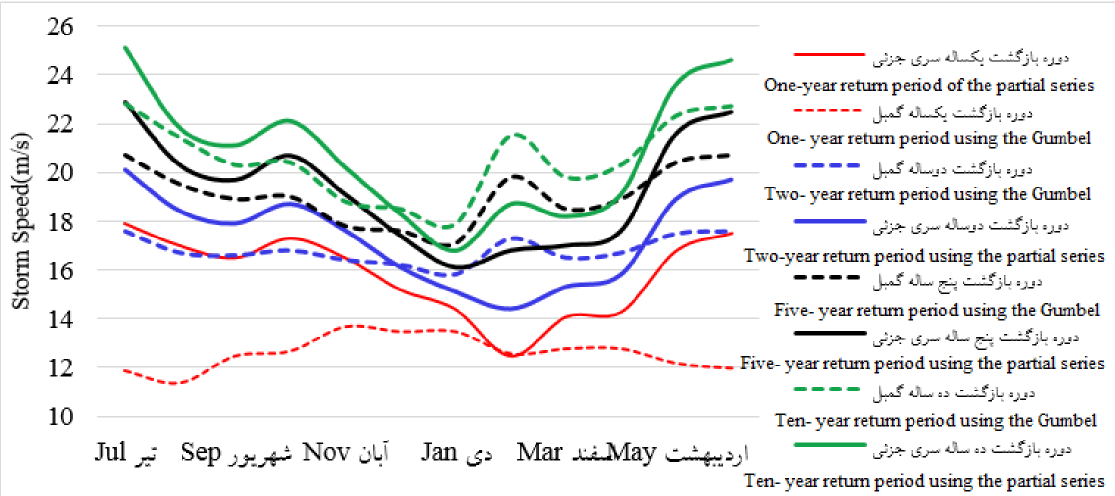
در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در فصل زمستان انتظار رخداد طوفان با شدت ۳۲/۸ متر بر ثانیه و در بهار احتمال رخداد طوفان با شده ۳۰/۹ متر بر ثانیه وجود دارد (جدول ۹).

جدول ۹- پیش‌بینی طوفان‌های فصلی و سالانه شهر خاش به روش سری‌های جزئی

Table 9– Prediction of seasonal and annual storms in Khash city using partial series method

فصل و سال Season & year	**Probability احتمال**	**٪ 1**	**٪2**	**٪5**	**٪10**	**٪20**	**٪ 50**	**٪ 99**
	دورهٔ بازگشت (سال) **Return period(yr)**	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
Winter زمستان		19.8	21.5	23.7	25.3	27	29.2	30.9
Spring بهار		18.4	19.6	21.2	22.5	23.7	25.3	26.6
Summer تابستان		15.8	17	18.6	19.8	21	22.6	23.8
Autumn پاییز		19.5	21.5	24.2	26.2	28.2	30.8	32.8
Annually سالانه		21.8	23.4	25.5	27	28.6	30.7	32.3

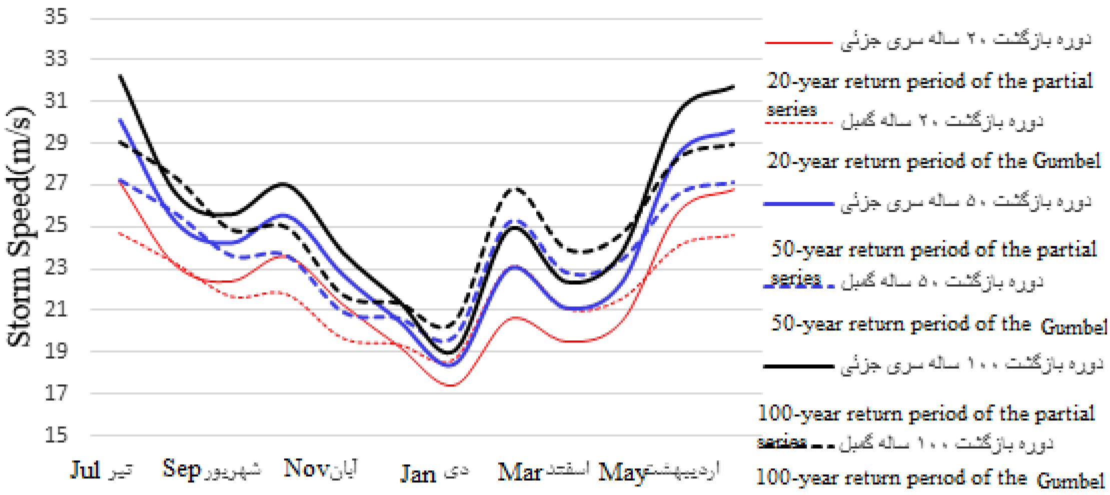
مقایسه نتایج ماهانه روش سری‌های جزئی و توزیع گامبل برای دوره‌های بازگشت ۱، ۲، ۵ و ۱۰ ساله در شکل ۷ نمایش داده شده است. در دوره بازگشت ۱ ساله فقط در ماه بهمن نتایج نزدیک به هم و در بقیه ماه‌ها روش سری جزئی مقادیر بالاتری را برآورد کرده است. در دوره بازگشت ۲ ساله از آذر تا فروردین توزیع گامبل مقادیر بالاتری را پیش‌بینی کرده و در بقیه ماه‌ها روش سری جزئی مقادیر بیشتری را برآورد نموده‌است. در دوره بازگشت ۵ ساله و ۱۰ ساله نیز شرایط مشابه دوره بازگشت ۲ ساله است؛ اما در مجموع مقادیر بالاتر حدی توسط روش سری جزئی پیش‌بینی شده است (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه نتایج ماهانه روش سری‌های جزئی و گامبل برای دوره‌های بازگشت ۱، ۲، ۵ و ۱۰ ساله

Fig.7. Comparison of monthly results using partial series method and Gumbel distribution for return periods of 1, 2, 5, and 10 years

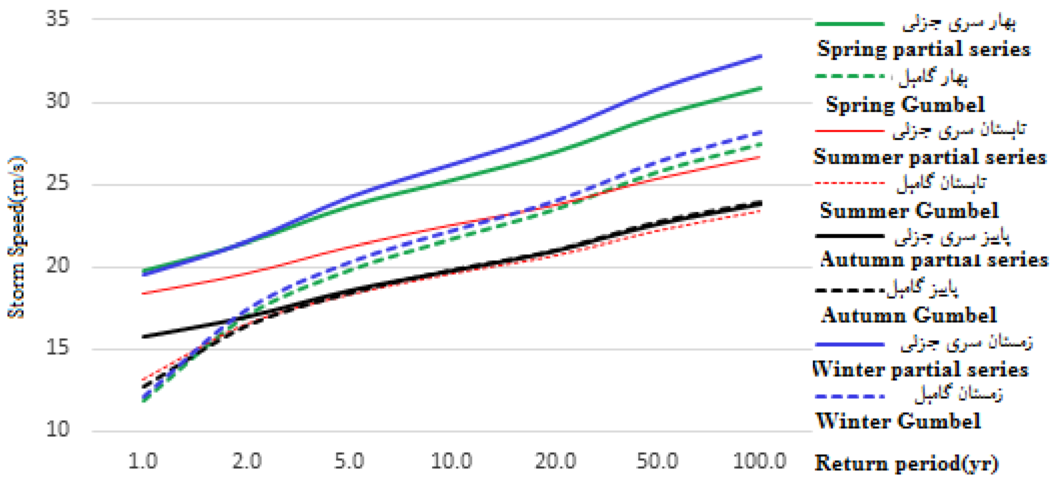
همچنین در دوره‌های بازگشت ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله نیز بین ماه‌های آذر تا فروردین، توزیع گامبل مقادیر بالاتری پیش‌بینی نموده و در سایر ماه‌ها روش سری جزئی مقادیر بالاتری را پیش‌بینی کرده است؛ نکتهٔ حائز توجه، مقادیر حدی است که مجدد توسط مدل سری جزئی مقادیر بالاتری را در تیر، خرداد و اردیبهشت برآورد کرده است (شکل ۸).



شکل ۸- مقایسه نتایج ماهانهٔ روش سری‌های جزئی و گامبل برای دوره‌های بازگشت ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

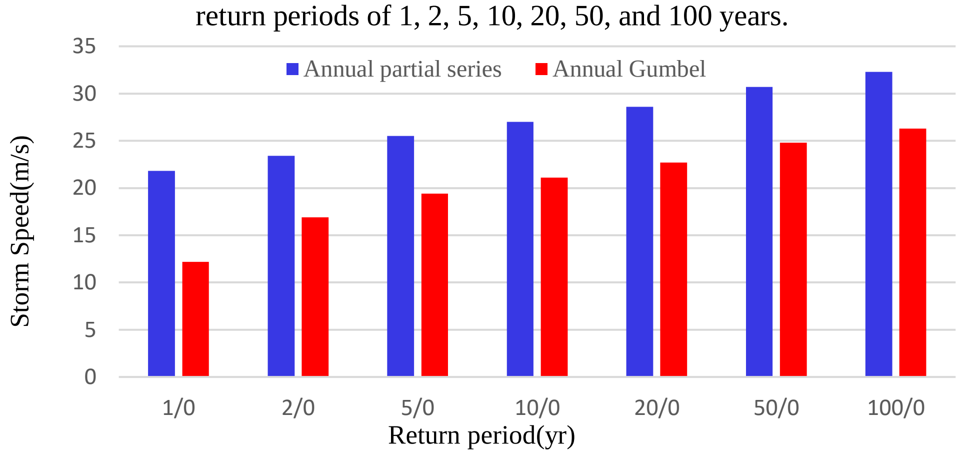
Fig. 8. Comparison of monthly results using partial series method and Gumbel distribution for return periods of 20, 50, and 100 years

نتایج پیش‌بینی فصلی اندکی متفاوت است. در فصل پاییز مقادیر دورهٔ بازگشت یک ساله در توزیع گامبل کمتر از روش سری جزئی است. ولی در دوره‌های بازگشت دیگر نتایج تقریباً مشابه یکدیگر هستند. در بقیه فصول به‌طور آشکارتری، پیش‌بینی روش سری‌جزئی، مقادیر بالاتری را برآورد نموده‌است. فصل زمستان و بهار شدیدترین طوفان‌ها را در روش سری جزئی پیش‌بینی کرده‌اند (شکل ۹). در مقیاس سالانه نیز نتایج به همین منوال تکرار شده و روش سری جزئی مقادیر بالاتری را پیش‌بینی کرده است. البته در مقیاس سالانه در دورهٔ بازگشت یک ساله اختلاف نتایج روش سری جزئی و توزیع گامبل چشمگیرتر است (شکل ۱۰).



شکل ۹- مقایسه نتایج فصلی روش سری‌های جزئی و گامبل برای دوره‌های بازگشت ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

Fig. 9. Comparison of seasonal results using partial series method and Gumbel distribution for return periods of 1, 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years.



شکل ۱۰- مقایسه نتایج سالانه روش سری‌های جزئی و گامبل برای دوره‌های بازگشت ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

Fig. 10. Comparison of annual results using partial series method and Gumbel distribution for return periods of 1, 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years.

۴- جمع‌بندی

شهر خاش به سبب موقعیت جغرافیایی ویژه از توده‌های هوایی حاره‌ای و برون‌حاره‌ای متأثر است. برخی از این توده‌های هوایی سبب وزش‌های طوفان‌های سهمگین می‌شوند. بر این اساس تعداد پدیده‌های گردوخاکی استان سیستان و بلوچستان بر اساس اطلاعات سازمان هواشناسی کشور در جداول ۱۰ و ۱۱ آمده است.

جدول ۱۰- کدهای مرتبط با پدیده‌های گردوخاک

Table 10- Codes related to dust storm phenomena

Code definitions تعاریف کدها	Num.
گردوخاک معلق در هوا که در اثر طوفان شن و خاک نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه آمده است. Suspended dust and sand in the air, brought to the station from outside areas by a dust storm.	06
گردوخاک یا شنی که به‌وسیلهٔ باد در ایستگاه و یا نزدیکی آن در ساعت دیدبانی بلند شده است. Dust or sand that has been raised by the wind at the station or nearby during the observation hour	07
طوفان گردوخاک در ساعت دیدبانی در اطراف ایستگاه Dust storm at the observation hour around the station	09
طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن–طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است. Mild or moderate dust or sand storm – the intensity of the storm has decreased during the past hour	30
طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن–طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییر نکرده است. Mild or moderate dust or sand storm – the intensity of the storm has remained the same during the past hour.	31
طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن– طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است. Mild or moderate dust or sand storm – the intensity of the storm has increased during the past hour.	32
طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن– طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییر نکرده است. Mild or moderate dust or sand storm – the intensity of the storm has remained the same during the past hour.	33
طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن– طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است. Mild or moderate dust or sand storm – the intensity of the storm has increased during the past hour.	34

منبع: سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۰

جدول ۱۱- تعداد پدیده‌های گردوخاکی استان سیستان و بلوچستان طی دورهٔ ۱۳۶۵-۱۳۹۷

Table 11- Number of dust storm events in Sistan and Baluchestan province during the period of 1986-2018

میانگین کل Total Mean	جمع کل Total Sum	کدهای 09 و 30 تا 35 میانگین Mean	کدهای 09 و 30 تا 35 مجموع Sum	کدهای 06 و 07 میانگین Mean	کدهای 06 و 07 مجموع Sum	ایستگاه Station
697	28557	30	1224	667	27333	زابل Zabol
220	9031	2	85	218	8946	زاهدان Zahedan
100	4095	0.8	33	99	4062	خاش Khash
110	4509	0.5	19	110	4490	سراوان Saravan
145	5950	2.3	96	143	5854	ایرانشهر Iranshahr
76	3105	0.05	2	76	3103	چابهار chabahar

طبق تعریف سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)، بحران به‌عنوان «وضعیت با سطح بالایی از عدم اطمینان که فعالیت‌های اصلی و یا اعتبار یک سیستم را مختل می‌کند و نیاز به اقدام فوری دارد» تعریف می‌شود؛ بنابراین طوفان‌های حدی در شهر خاش به‌عنوان یک بحران این منطقه را تحت تأثیر قرارداده و سبب خسارت‌های مالی و گاه جانی می‌شوند. ازین رو اقدامات کاهشی در مدیریت قبل از وقوع بحران، به‌عنوان حیاتی‌ترین موضوع قابل توجه و پیگیری است. نتایج توصیف آماری داده‌ها اعم از میانگین، بیشینه و فراوانی وزش‌های بیش از ۱۵ متر بر ثانیه نشان داده که فصل‌های زمستان و بهار بیشترین فراوانی و شدت طوفان را دارند و پاییز آرام‌ترین فصل سال است. همچنین در بازه زمانی ماهانه تیر و خرداد بیشترین و ماه‌های بهمن و دی کمترین فراوانی و شدت طوفان را نشان دادند. نتایج ترسیم گل طوفان‌ها نشان داد که غالب طوفان‌های شهر خاش از سمت جنوب غرب وارد منطقه شده‌اند و پس از آن وزش‌های با جهت غربی، جنوبی و شمال غربی بیشترین فراوانی طوفان را داشته‌اند که بیانگر اثرات درون مرزی و ضرورت تدوین برنامه راهبردی مدیریت بحران برای استان‌های نیمه جنوبی با تاکید بر جنوب غربی کشور است؛ بنابراین طوفان‌های شهر خاش نتیجهٔ فعالیت سامانه‌های سودانی، غربی و گاه موسمی هستند که در فصل‌های منطبق بر آن‌ها طوفان‌ها غالباً رخ داده و شدت گرفته‌اند. این وضعیت نیازمند همکاری‌های زیست‌محیطی فعال و چند جانبه کشورهای همجوار در یک چشم انداز ۲۰ ساله است.

بررسی آماریِ دو روش پیش‌بینی توزیع گامبل و سری‌های جزئی، نشان داد روش سری‌های جزئی، دوره‌های بازگشت مختلف طوفان‌ها با شدت بیشتری و در روش گامبل شدت کمترپیش‌بینی شده‌اند؛ بنابراین روش سری‌های جزئی به سبب پیش‌بینی‌های حد بالاتر، روش مناسب‌تری نسبت به توزیع گامبل برای پیش‌بینی طوفان‌های شهر خاش می‌باشد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های (Tavosi & Raeispoor, 2011; Raeispoor et al., 2013; Khodabandeh, 2012) همسو می‌باشد. یافته‌ها و نتایج این پژوهش در پیش‌بینی شدت طوفان‌ها در شهر خاش، ضرورت پیشگیری و برنامه‌ریزی راهبردی در سطوح محلی، منطقه‌ای و ملی را با تاکید بر پایداری کالبدی و اجتماعی دوچندان کرده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در سند توسعه و آمایش استان سیستان و بلوچستان و شهر خاش اقدامات اجرایی برای کاهش اثرات پدیده ماهانه و فصلی طوفان از سوی مدیران محلی و استانی در دستور کار قرار گیرد.

References

Bajo, M. (2020). Improving storm surge forecast in Venice with a unidimensional Kalman filter. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *239*, 106773. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106773

Baker, A. J. (2014). *Lagrangian modelling of precipitation and speleothem proxy oxygen isotope systematics in the East Asian Summer Monsoon region*. Durham theses, Durham University. http://etheses.dur.ac.uk/11460/

Balamir, M. (2007). Afet Riski ve Planlama Politikaları. *TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TMMOB, Ankara, ss. 31-43.

Bhunya, P. K., Singh, R. D., Berndtsson, R., & Panda, S. N. (2012). Flood analysis using generalized logistic models in partial duration series. *Journal of Hydrology*, *420*, 59-71. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.037

Campbell, S. (1996). Green cities, growing cities, just cities? Urban Planning and the Contradictions of Sustainable 706 Development. *Journal of the American Planning Association*, *62*, 3, 296-312.

Coppola, D. P. (2006). *Introduction to International Disaster Management*. Elsevier.

Cunnane, C. (1979). A note on the Poisson assumption in partial duration series models. *Water Resources Research*, *15*(2), 489-494. https://doi.org/10.1029/WR015i002p00489

Farajzadeh Asal, M., & Alizadeh, Kh. (2010). Time and place analysis of dust storms in Iran. *Space Planning and Planning*, *15*(1), 65-84. [In Persian] http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-6166-fa.html

Gencer, E. A. (2013). Natural Disasters, Urban Vulnerability, and Risk Management: A Theoretical Overview. *The interplay between urban development, vulnerability, and risk management: A case study of the Istanbul metropolitan area*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29470-9_2

Hosseini, S. M. (2012). *Synoptic analysis of severe sandstorms in Sistan region*. Master's thesis. University of Sistan and Baluchistan. [In Persian]

Houghton, J. T. (1996). *Climate change 1995: The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (2). Cambridge University Press.

Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering*, *82*(1), 35-45. https://doi.org/10.1115/1.3662552

Kapucu, N., Hawkins, C. V., & Rivera, F. I. (2013). Disaster preparedness and resilience for rural communities. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, *4*(4), 215-233. https://doi.org/10.1002/rhc3.12043

Khodabandeh, A. (2012). *Simultaneous analysis of strong winds in the east of Isfahan city*. Master's thesis. University of Sistan and Baluchestan. [In Persian]

Kim, S., Pan, S., & Mase, H. (2019). Artificial neural network-based storm surge forecast model: Practical application to Sakai Minato, Japan. *Applied Ocean Research*, *91*, 101871. https://doi.org/10.1016/j.apor.2019.101871

Kiyani, S., Kiyani, V., & Behdarvand, N. (2021). Forecasting occur probability intense storm using Gumbel Distribution; Case study: Nahavand township. *Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation*, *2*(6), 219-226. https://doi.org/10.22034/CAJESTI.2021.06.01

Kohno, N., Dube, S. K., Entel, M., Fakhruddin, S. H. M., Greenslade, D., Leroux, M. D., ... & Thuy, N. B. (2018). Recent progress in storm surge forecasting. *Tropical Cyclone Research and Review*, *7*(2), 128-139. https://doi.org/10.6057/2018TCRR02.04

Lin, G. (2002). Dust storm in the 1930 and sand storm in 1999 in the USA. *Global Alarm, dust and sand storm from the world dry lands*,160-170.

Liu, M., Westphal, D. L., Wang, S., Shimizu, A., Sugimoto, N., Zhou, J., & Chen, Y. (2003). A high-resolution numerical study of the Asian dust storms of April 2001. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *108*(D23). https://doi.org/10.1029/2002JD003178

Mahdavi, M.(2006). *Applied Hydrology*. Tehran: Tehran University Press. [In Persian]

Mohammadkhan, S. (2017). Status and trends of dust storms in Iran from 1364 to 1384. *Journal of Range and Watershed Managment*, *70*(2), 495-514. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.123300.867

Ocal, A. (2021). Disaster management in Turkey: a spatial approach. *International Journal of Disaster Risk Management*, *3*(1), 15-22. https://doi.org/10.18485/ijdrm.2021.3.1.2

Pakzad, E., Kalat, O. P., & Pirzaman, Y. K. (2024). Comparative study of the state of sustainability between Iran and Turkey using the triangular sustainable development model. *Environmental Engineering & Management Journal*, *23*(2), 331-344. http://doi.org/10.30638/eemj.2024.027

Pilehvar, A. A., Jamshidzehi, J., & Pirean kalat, O. (2022). Capacity Assessment of the Vulnerability of Settlements in the Tahlab Watershed of Sistan and Baluchistan Through Accidental Floods. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(2), 193-218. [In Persian] http://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72667.1111

Piryan Kalat, O., Kamkar Ghorbanzadeh, R., Zamani, P., & Ziari, K. (2023). Evaluating and Identifying Potential Areas for the Construction of Industrial Parks in Urmia City. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 217-240. [In Persian] http://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78283.1268

Pourgholam Amiji, M., Ansari Ghojghar, M., Bazrafshan, J., Liaghat, A., & Araghinejad, S. (2020). Comparing the Performance of SARIMA and Holt-Winters Time Series Models With Artificial Intelligence Methods in Dust Storms Forecasting (Case Study: Sistan and Baluchestan Province). *Physical Geography Research*, *52*(4), 567-587. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.303847.1007524

Raeispoor, K., Beykrezaei, E., & Tavoosi, T. (2013). Statistical Analyze and Predicting Incident Probability of Stormy and Strong Winds in Kermanshah Province. *Geography and Environmental Planning*, *24*(3), 93-106. [In Persian] https://dor.20.1001.1.20085362.1392.24.3.9.8

Song, Z. (2004). A numerical simulation of dust storms in China. *Environmental Modelling & Software*, *19*(2), 141-151. https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00116-6

Tavosi, T., & Raeispoor, K. (2011). Statistical analysis and prediction of occurrence probability of violent. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, *1*(2), 93-105. [In Persian] https://jargs.hsu.ac.ir/article_161268.html?

Wälitalo, L., & Missimer, M. (2022) The Organization of Social Sustainability Work in Swedish Eco-Municipalities. *Sustainability, 14*(5), 2770. https://doi.org/10.3390/su14052770

Wetphal, D. L. (2002). Status and Future of Dust Storm Forecasting, Available in naval research laboratory

World Bank & UN. (2010). *Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention*. Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development.

Yue, S. (2000). The Gumbel logistic model for representing a multivariate storm event. *Advances in Water Resources*, *24*(2), 179-185. https://doi.org/10.1016/S0309-1708(00)00039-7